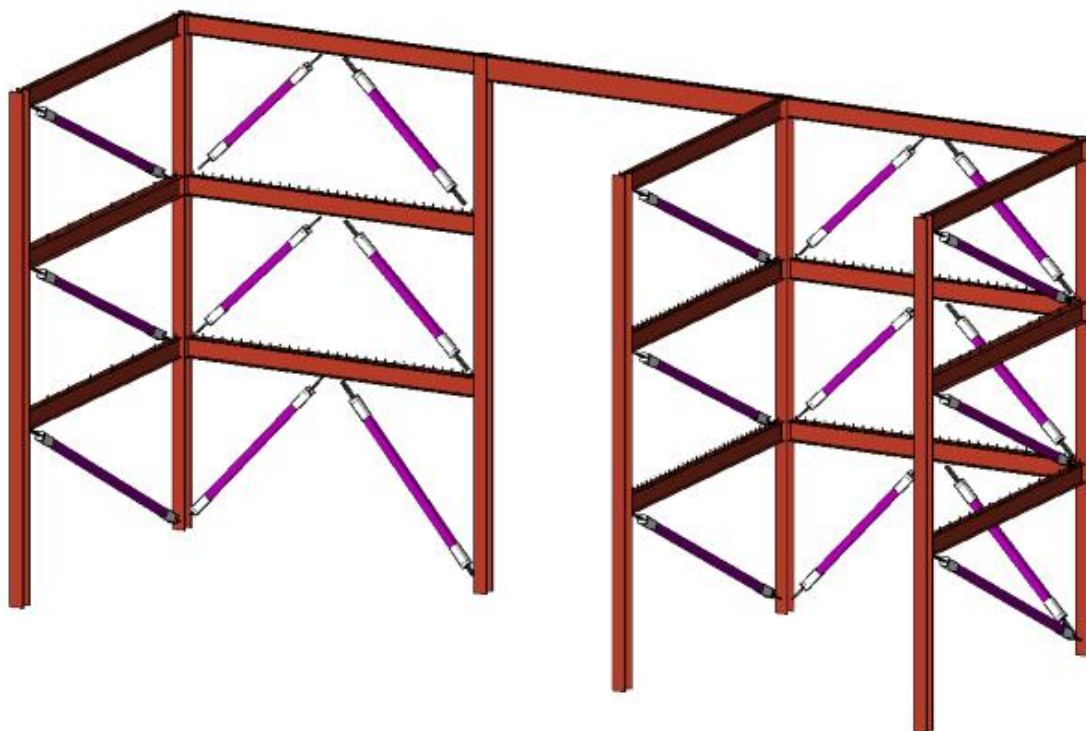


# مقایسه هزینه سازه ای استفاده از

## مهاربندهای کمانش تاب (BRB)

Moore Lindner  
Engineering, Inc.



April 30, 2014

استفاده از مهاربندهای کمانش تاب (BRB) در سالهای اخیر بصورت چشمگیری افزایش یافته است. ابتکار و نوآوری این محصول جلوگیری از کمانش کلی مهاربند است که بطور مشخص این پدیده طراحی سیستم های قاب مهاربندی شده هم محور را کنترل می نماید. انجام آزمایشهای گسترده این سیستم مهاربندی، رفتار پایدار، قابل پیش بینی و شکل پذیر در پدیده های لرزه ای را آشکار می کند.

قابهای مهاربندهای کمانش تاب توسط مدل های آئین نامه ای بصورت یک سیستم مقاوم در برابر نیروی زلزله به رسمیت شناخته شده است :

– در ویرایش ۲۰۰۵ مقررات لرزه ای AISC (AISC 341)

– در ویرایش ۲۰۰۵ ASCE-7

– در ویرایش ۲۰۰۶ IBC

هدف این بررسی، مقایسه هزینه های سازه ای چهار ساختمان اداری مجزا نزدیک چارلستون در منطقه کارولینای جنوبی امریکا میباشد. دلیل انتخاب این مکان بنخاطر استقرار آن در غرب ایالات متحده است که معرف فعالیت لرزه ای ماکزیمم در آن منطقه میباشد.

انواع ساختمانها عبارتند از :

۱- ساختمان سه طبقه با استفاده از قابهای مهاربندی شده هم محور ویژه (SCBF)

۲- ساختمان سه طبقه با استفاده از قابهای کمانش تاب (BRBF)

۳- ساختمان پنج طبقه با استفاده از SCBF

۴- ساختمان پنج طبقه با استفاده از BRBF

## - فرضیات طراحی

مقایسه آنالیز ، طراحی و هزینه سازه ای این ساختمانها براساس فرضیات طراحی زیر پایه ریزی شده است :

Building Code: 2012 International Building Code  
ASCE 7-10  
AISC 341-10 and 360-10

Risk Category: II (IBC Table 1604.5, ASCE 7-10, Table 1.5-1)

Wind: 140 mph, Exposure B  
Seismic: Equivalent Lateral Force Analysis & Modal Response Spectrum Analysis  
 $S_S=1.701$  ,  $S_1=0.580$   
 $S_{DS}=1.134$  ,  $S_{D1}=0.580$   
Site Class D; Design Category D;  $T_L=8.0$   
Redundancy Factor=1.3 (ASCE 7-10, 12.3.4.2)  
Coefficients and Factors:

Bracing System	Response Modification Factor, R	Overstrength Factor, $\Omega_o$	Deflection Amplification Factor, $C_d$	Building Period Coefficient, $C_T$
SCBF	6.0	2.0	5.0	0.020
BRBF	8.0	2.5	5.0	0.030

( توضیح اینکه در آئین نامه ۲۸۰۰ برای SCBF ضریب  $R=5.5$  و برای BRBF ضریب  $R=7$  در نظر گرفته شده است.)

Geotechnical:

غالباً نوع تیپ بندی خاک در چارلستون کارولینای جنوبی به علت احتمال روانگرایی به آنالیز پاسخ سایت ( Site Response Analysis ) احتیاج خواهد داشت. این حاصل تجربه ما است که نتایج گراف طیف پاسخ طراحی ( Design Response Spectrum ) نتیجه ای خیلی مشابه با طبقه بندی نوع D بدست خواهد آورد. همچنین شرایط خاک اغلب منجر به استفاده از سیستم بهبود خاک مانند Geopiers میشود. بنابراین آنالیز ما بر اساس Site Class D و با استفاده از Geopiers با ظرفیت باربری مجاز  $8,000 \text{ psf}$  تحت بارگذاری گذرا مانند قابهای مهاربندی شده است.

## - توصیف ساختمان

ساختمان سه طبقه : ۷۲۰۰ مترمربع

ساختمان پنج طبقه : ۱۲۰۷۷ مترمربع

نقشه معماری این ساختمانهای دفتری برای سازه ها در این منطقه تیپ می باشد. برای استفاده از روشنائی طبیعی تعداد زیادی باز شو پنجره وجود دارد بنابراین دیوارهای پیرامونی برای قراردادن مهاربند مجاز نخواهند بود. ارتفاع کف تا کف برای تمام طبقات ۴/۲۷ متر میباشد.

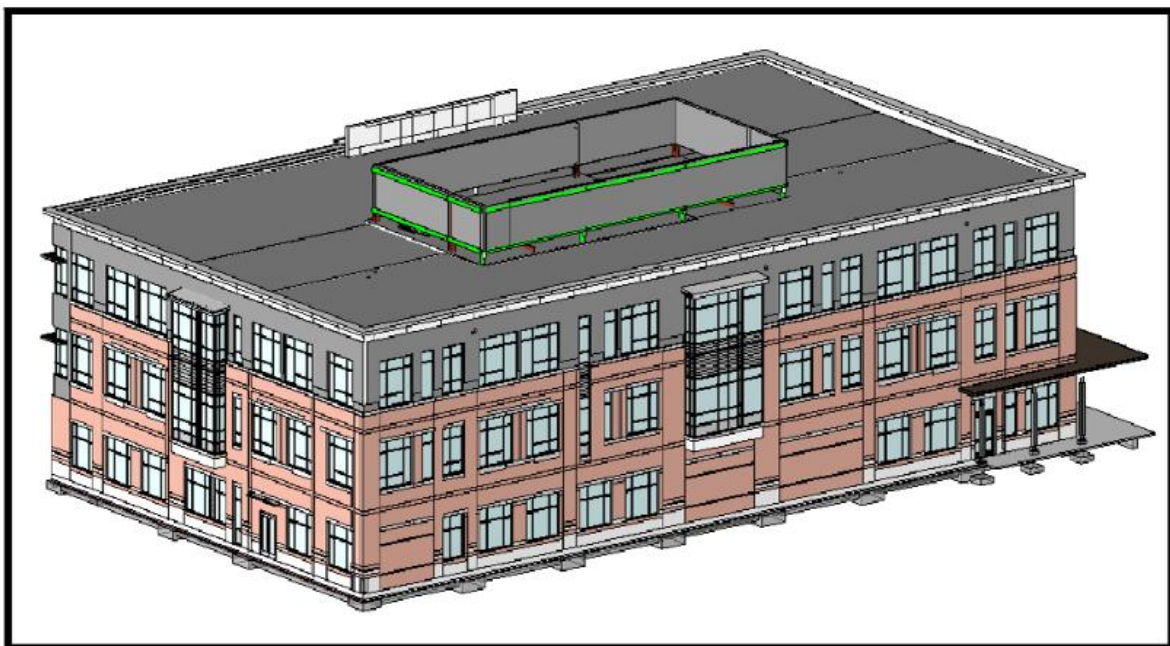


Figure 1: Isometric of 3-Story Building

هسته مرکزی ساختمان شامل دو راه پله ، دو آسانسور ، توالت مردانه و زنانه ، HVAC و یک اتاق برق میباشد. هسته مرکزی بنا به خواست مالک و معمار محل قرارگیری بادبند در نظر گرفته شده است. مقاطع HSS برای قابهای CBF مورد استفاده قرار گرفته است. طرح معماری نیاز به یک کریدور مجاور خط ستونهای محور B داشته که باید ارتفاع آن در امتداد خط مهاربندها در محورهای ۳، ۴، ۵ و ۶ بلندتر باشد. گذشته از این امتداد مهاربندهای محورهای B,C باید اجازه دسترسی به آسانسور لابی و سرویسهای بین ستونها را بدهند. مقاطع HSS برای قابهای SCBF مورد استفاده قرار گرفته اند.

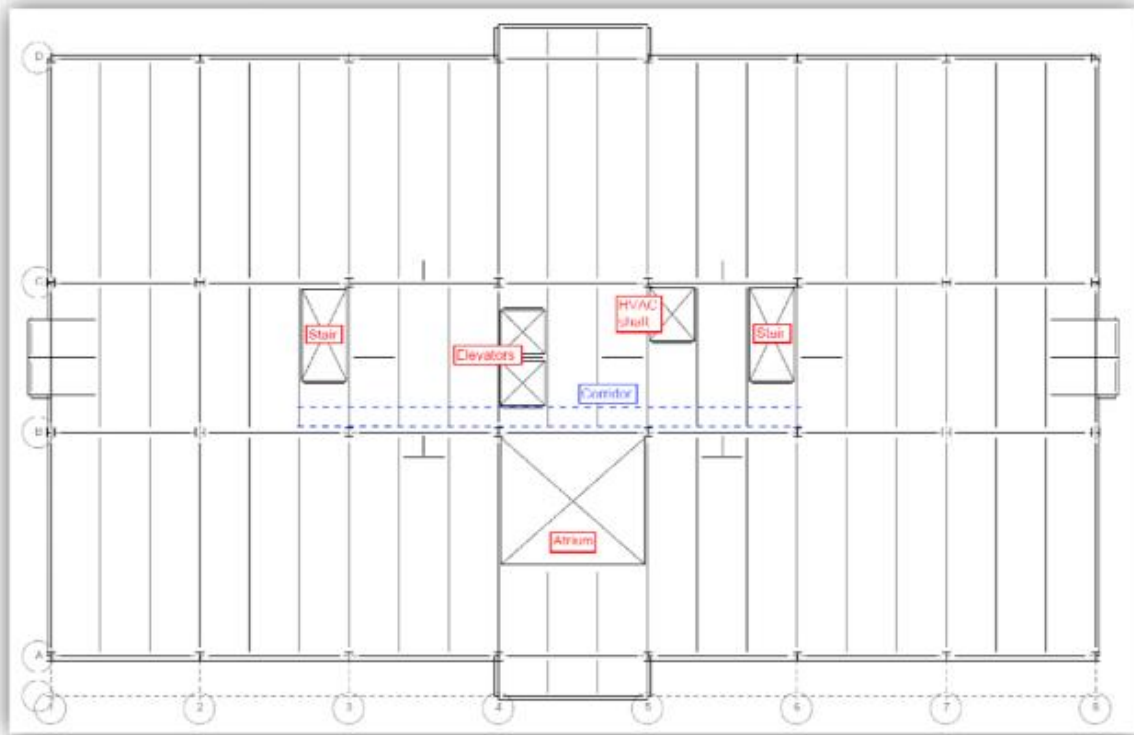


Figure 2: Second Floor Framing Plan

کفها از نوع عرشه فولادی کامپوزیت با ضخامت کل ۱۶/۵ سانتیمتر برای ساختمان سه طبقه و ۱۹ سانتیمتر برای ساختمان پنج طبقه در نظر گرفته شده است. دیوارهای پیرامون آجری با استادهای فولادی و پانل های فلزی اجرا خواهد شد.

ساختمان سه طبقه دارای ستونهای بدون وصله و یکپارچه بوده و در ساختمان پنج طبقه تمامی ستونها در طبقه سوم وصله شده اند.

## بحث -

الزامات معماری تشریح شده بالا ، پیکربندی قابل قبول و ممکن برای مهاربندی را محدود می نماید. استفاده از مهاربند مورب تک در BRBF ها برخلاف SCBF ها مجاز میباشد (AISC341-10,F2.4a). این محدودیتها ملزم خواهند کرد تا بسیاری از SCBF ها به شکل ۷ یا ۸ باشند. به منظور تطبیق نمودن زاویه شیبدار مهاربندهای ۷ در حالت SCBF در کریدور اصلی ، عرض کریدور ورودی باید باریکتر شده و ارتفاع سقف باید کمتر از آن چیزی باشد که مهندس معمار در طراحی خود در نظر گرفته است.

تیرهای شورون SCBF نسبت به تیرهای BRBF ، بخاطر اختلاف زیاد بین ظرفیت کششی و فشاری اعضای مهاربندهای سنتی، دارای جراثم طراحی می باشند (AISC341-10,F4.4a). الزامات طراحی برای تیرها در قابهای SCB منجر به ایجاد اعضای سنگین تر نسبت به BRBF ها می گردد.

محدودیت مقدار عرض به ضخامت اعضای با شکل پذیری زیاد در جدول D1.1 آئین نامه AISC341 به مقدار حدود ۱۵ درصد در ویرایش ۲۰۱۰ کاهش یافته است. در نتیجه ، استفاده از بسیاری از مقاطع HSS های سایز بزرگ مجاز نبوده ، بنابراین نیروی لرزه ای که قاب می تواند در مقابل آن مقاومت کند محدود می گردد. در هر دو SCBF ساختمانهایی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته اند ، نیاز لرزه ای بیش از مقاومت مهاربند طرح اولیه مهاربندهای ما بود ، بنابراین قابهای اضافه تری مورد نیاز بود. شکلهای ۳ تا ۶ نشان دهنده طرح نهائی مهاربندهای طراحی شده می باشند.

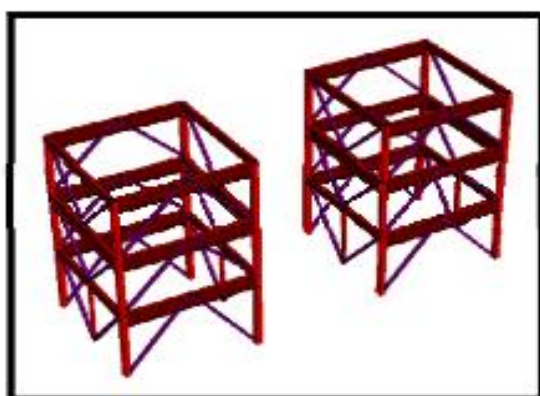


Figure 3: 3-Story SCBF

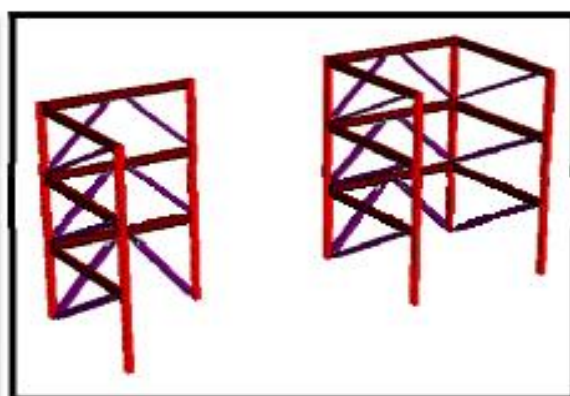


Figure 4: 3-Story BRBF

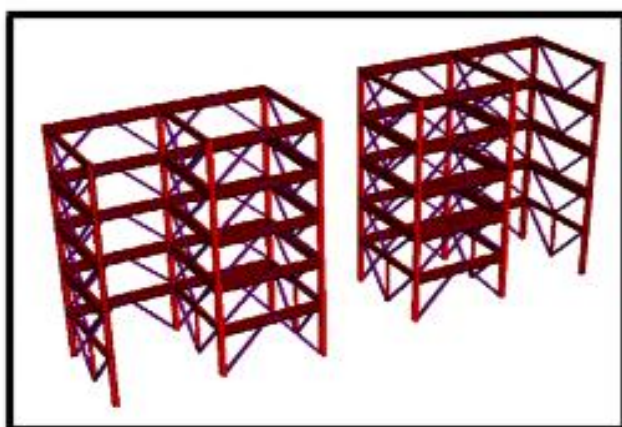


Figure 5: 5-Story SCBF

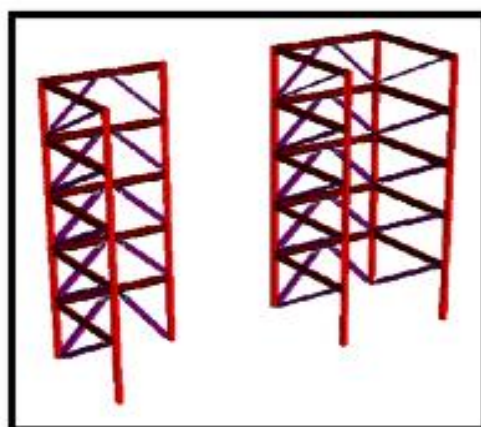


Figure 6: 5-Story BRBF

همه تیپ بندی مهاربند از لحاظ پیچشی نامنظم هستند ، بنابراین یک آنالیز طیف پاسخ مدال برای هر کدام انجام شد. اندازه های مهاربند براساس انطباق با محدودیتهای دریافت طبقه تنظیم شدند.

یکی از مزئیتهای خیلی مهم در طراحی قابهای مهاربند کمانش تاب (BRBF) که بسیار هم مشهود است فاکتور اصلاح پاسخ ( R ) بزرگتر آن است. استفاده از R=8 بجای R=6 باعث کاهش 25% در برش پایه زلزله می شود.

همچنین ، استفاده از زمان تناوب اصلی بر مبنای آنالیز سازه ای واقعی بجای زمان تناوب تجربی که تقریبی می باشد این کاهش را بمراتب بهبود می دهد.

سیستم های پایداری جانبی ساختمانها ، با تنظیم و اصلاح اندازه اعضاء سازه برای اجازه دادن به جابجائی نسبی (Drift) بیشتر ساختمان ( در محدوده های مجاز ) وفق پیدا می کنند ، و همین عامل باعث ایجاد دوره تناوب اصلی بزرگتر می گردد. بدلیل مقطع کوچکتر فولاد مورد نیاز برای تامین مقاومت کافی ، قابهای مهاربندی شده کمانش تاب به این نوع تنظیمات بیشتر حساس هستند.

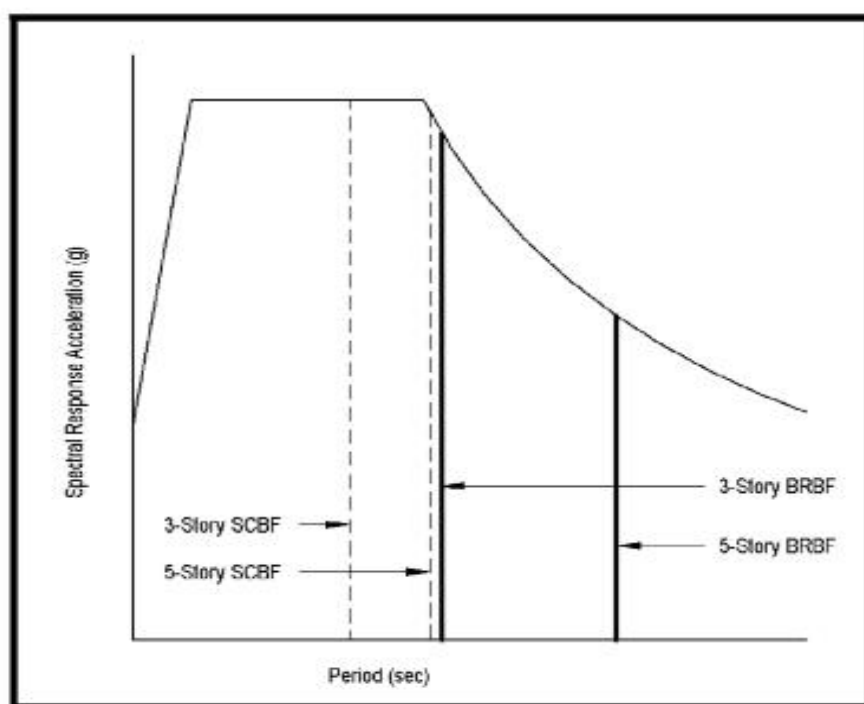


Figure 7: Design Response Spectrum

جدول ۱: برش های پایه ساختمان ۳ طبقه با استفاده از روش آنالیز نیروی استاتیکی معادل

Building Type	Fundamental Period (sec)		Ts=S <sub>D1</sub> /S <sub>DS</sub> (sec)	Response Coefficient		ELFA Base Shear (kips)	
	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>		C <sub>sx</sub>	C <sub>sy</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>
SCBF 3-story	0.377	0.386	0.511	0.189	0.189	1,126	1,126
BRBF 3-story	0.501	0.586	0.511	0.142	0.124	821	717

مقادیر بالا دوره تناوب اصلی محاسبه شده با استفاده از آنالیز سازه را نشان می دهند ، نه دوره تناوب اصلی تقریبی را.

جدول ۲: برش های پایه ساختمان ۵ طبقه با استفاده از روش آنالیز نیروی استاتیکی معادل

Building Type	Fundamental Period (sec)		Ts=S <sub>D1</sub> /S <sub>DS</sub> (sec)	Response Coefficient		ELFA Base Shear (kips)	
	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>		C <sub>sx</sub>	C <sub>sy</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>
SCBF 5-story	0.497	0.549	0.511	0.189	0.176	2,129	1,985
BRBF 5-story	0.788	0.913	0.511	0.092	0.079	982	848

مقادیر بالا دوره تناوب اصلی محاسبه شده با استفاده از آنالیز سازه را نشان می دهند ، نه دوره تناوب اصلی تقریبی را.

#### - مقایسه هزینه ای :

هدف این مطالعه مقایسه کمی هزینه بین این ساختمانهای نمونه است که مستقیماً از نوع سیستم های مهاربندی انتخابی نتیجه شده است. بنابراین ، هزینه های پیش رو را نباید به کل هزینه سازه ای ساختمان نسبت داد بلکه فقط بعنوان مقایسه هزینه ای می توان بکار برد.

ما اینجا تفاوت های هزینه ای سازه را بین چهار تیپ ساختمان با توجه به تجارب کارخانه های بزرگ سازنده اسکلت و نیز تامین کنندگان عمده آهن آلات منطقه مورد بررسی قرار داده ایم. جداول ۳ و ۴ خلاصه بررسی های هزینه را نشان می دهد.



جدول ۳ - مقایسه هزینه ساختمان ۳ طبقه

	3-Story SCBF		3-Story BRBF		هزینه واحد صرفه جوئی شده با BRBF
	(tons)	1(ریال) هزینه	(tons)	1(ریال) هزینه	
Gravity Beams	229.8		240.1		
Gravity Columns	26		27.7		
Frame Beams	92.6		19.1		
Frame Columns	45.8		20.8		
Braces	28.6				
<b>Subtotal</b>	<b>422.7</b>	7,185,900,000	<b>307.7</b>	5,230,900,000	
Detailing/Misc 2	84.5	1,521,000,000	40	720,000,000	
<b>Tonnage Total</b>	<b>507.3</b>		<b>347.7</b>		
Shop Labor Cost 3		6,848,550,000		4,693,950,000	
BRB members 4			56.6	2,830,000,000	
<b>Total Cost</b>		<b>15,555,450,000</b>		<b>13,474,850,000</b>	<b>289,000 / m<sup>2</sup></b>

پانوشت :

- ۱- قیمت خرید و حمل آهن آلات برای اعضای اصلی - تن/۱۷۰۰۰۰۰۰ ریال - و برای اتصالات و غیره - تن/۱۸۰۰۰۰۰۰ ریال - و هزینه ساخت و نصب - کیلوگرم/۱۳۵۰۰ ریال - می باشد. این هزینه های واحد در معرض نوسانات بازار می باشند.
- ۲- اتصالات و غیره شامل هزینه مصالح تمام انواع اتصالات ، نبشی ها ، ورقها ، بیس پلیتها ، ورقهای اتصال قابهای مهاربندشده و لچکیها می باشد. اینها درصدی از مقدار وزن اعضای اصلی می باشند. برای پروژه های مشابه و با استفاده از تجربیات کارخانه های سازنده اسکلت برای SCBF حدود ۲۰٪ و برای BRBF حدود ۱۳٪ می باشند. ورقهای اتصال در SCBF ها بمراتب بزرگتر هستند.
- ۳- هزینه ساخت و نصب رویهم رفته برای هر دو سیستم مقدار کیلوگرم/۱۳۵۰۰ در نظر گرفته شده است. در حالیکه در سیستم SCBF با ورقهای بمراتب بزرگتر و در نتیجه جوشکاری بیشتری سروکار خواهیم داشت.
- ۴- وزن در نظر گرفته شده برای BRB ها شامل وزن هسته فولادی ، غلاف HSS ، بتن و collar می باشد.

جدول ۴ - مقایسه هزینه ساختمان ۵ طبقه

	5-Story SCBF		5-Story BRBF		هزینه واحد صرفه جوئی شده با BRBF
	(tons)	۱(ریال) هزینه	(tons)	۱(ریال) هزینه	
Gravity Beams	401.4		417.1		
Gravity Columns	38.9		52.3		
Frame Beams	257.7		34.9		
Frame Columns	141.9		45.3		
Braces	71.9		---		
<b>Subtotal</b>	<b>911.8</b>	15,500,600,000	<b>549.5</b>	9,341,500,000	
Detailing/Misc <sup>2</sup>	164.1	2,953,800,000	60.4	1,087,200,000	
<b>Tonnage Total</b>	<b>1,075.9</b>		<b>609.9</b>		
Shop Labor Cost <sup>3</sup>		14,524,650,000		8,233,650,000	
BRB members <sup>4</sup>		---	80.9	4,045,000,000	
<b>Total Cost</b>		<b>32,979,050,000</b>		<b>22,707,350,000</b>	<b>850,000 / m<sup>2</sup></b>

پانوشت :

- ۱- همانند توضیحات جدول شماره ۳
- ۲- اتصالات و غیره شامل هزینه مصالح تمام انواع اتصالات ، نبشی ها ، ورقها ، بیس پلیتها، ورقهای اتصال قابهای مهاربندشده و لچکیها می باشد. اینها درصدی از مقدار وزن اعضای اصلی می باشند. برای پروژه های مشابه و با استفاده از تجربیات کارخانه های سازنده اسکلت برای SCBF حدود ۱۸٪ و برای BRBF حدود ۱۱٪ می باشند. ورقهای اتصال در SCBF ها بمراتب بزرگتر هستند.
- ۳- همانند توضیحات جدول شماره ۳
- ۴- همانند توضیحات جدول شماره ۳

همانطور که از جداول ۳ و ۴ مشخص است ، سه مفهوم اصلی برای صرفه جوئی در استفاده از BRBF ها قابل تمایز می باشد :

۱- اعضای اصلی قاب مهاربندی شده - این صرفه جوئی بدلیل کاهش قابل توجه مقدار برش پایه می باشد ، که این کاهش بخاطر مقدار  $R$  بزرگتر و استفاده از زمان تناوب پایه اصلی حاصل از آنالیز سازه ای می باشد.

۲- اتصالات و غیره - ورقهای اتصال برای SCBF ها بمراتب بزرگتر و اتصالات مربوطه بغرنج تر و با نیروی کار لازم بیشتر نسبت به BRBF ها.

۳- دستمزد ساخت و نصب - نیروی کار مرتبط با بغرنج بودن اتصالات SCBF در افزایش زمان شاپ لازم منعکس می شود.

### نتیجه گیری :

صرفه جوئی - تحلیل هزینه ای نشان می دهد منافع استفاده از مهاربند کمانش تاب می تواند کاملاً مهم باشد. در مثال ساختمان ۵ طبقه صرفه جوئی حدود ۸۵۰/۰۰۰ ریال در هر متر مربع می باشد. مهندسان می توانند با استفاده از یک سیستم سازه ای مقرون به صرفه ، ارزش خود را بعنوان یکی از اعضای تیم طراحی نشان دهند. کارخانه های ساخت اسکلت فلزی می توانند از این اطلاعات در بحث مهندسی ارزش استفاده کنند.

عملکرد - یکی از اهداف دستیابی به عملکرد لرزه ای موفق شکل پذیری است ، که انرژی زلزله را بصورت موثری مستهلک می کند. آزمایشها نشان داده اند که عملکرد تکرار پذیر BRBF ها به شیوه ای سازگار با این هدف انطباق دارند. الگوهای آئین نامه ها این اطمینان را در رفتار شکل پذیر ، با صحنه گذاشتن و تشویق به استفاده از آن ، و با در نظر گرفتن بیشترین مقدار ضریب رفتار  $R$  در هر سیستم مجاز ، نشان داده اند.

این فراتر از محدوده مطالعه حاضر است ولی ، ارزیابی بیشتر برای BRBF ها در مناطق با لرزه خیزی متوسط که در آن بصورت سنتی از ضریب رفتار  $R=3.5$  استفاده می شود، باید انجام پذیرد. کاهش برش پایه فقط بخاطر افزایش ضریب  $R$  در حدود 62.5 درصد است. همانطور که استفاده از مهاربندهای کمانش تاب افزایش می یابد ، اطلاعات بیشتر با توجه به مزایای مالی و مهندسی آن در دسترس خواهد بود.

## References

1. 2012 International Building Code; International Code Council, Inc.; Third Printing February 2013
2. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, AISC 341-10; American Institute of Steel Construction; June 22, 2010
3. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 7-10; American Society of Civil Engineers; 2010
4. "Buckling Restrained Braced Frame (BRBF) Structures: Analysis, Design and Approvals Issues"; by Hussain, Benschoten, Al Satari, & Lin
5. "Design of Buckling-Restrained Braced Frames"; by Sabelli & Lopez; Modern Steel Construction; March 2004

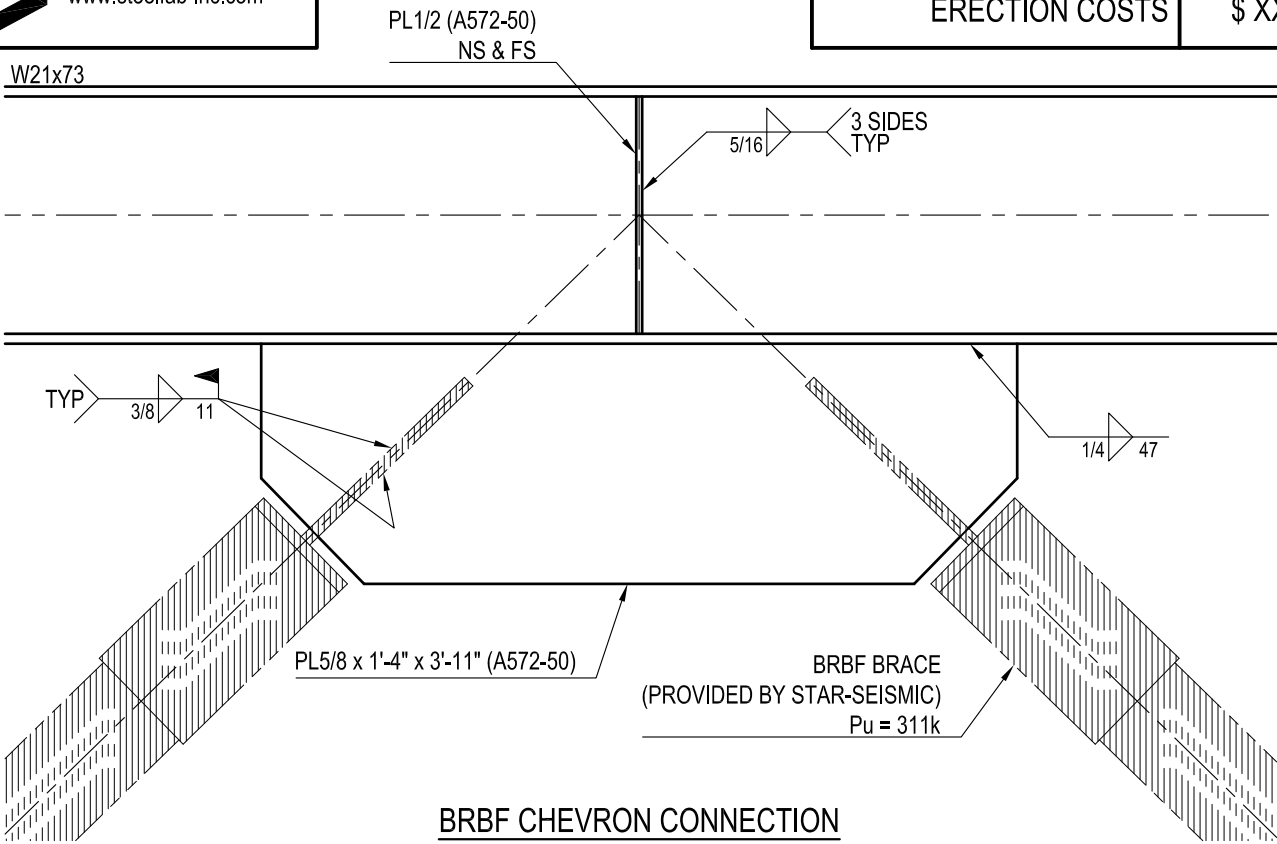




**STEEL FAB, INC.**  
www.steelfab-inc.com

FABRICATION COSTS (CONNECTION MATERIAL & LABOR)	\$ 229
--	--------

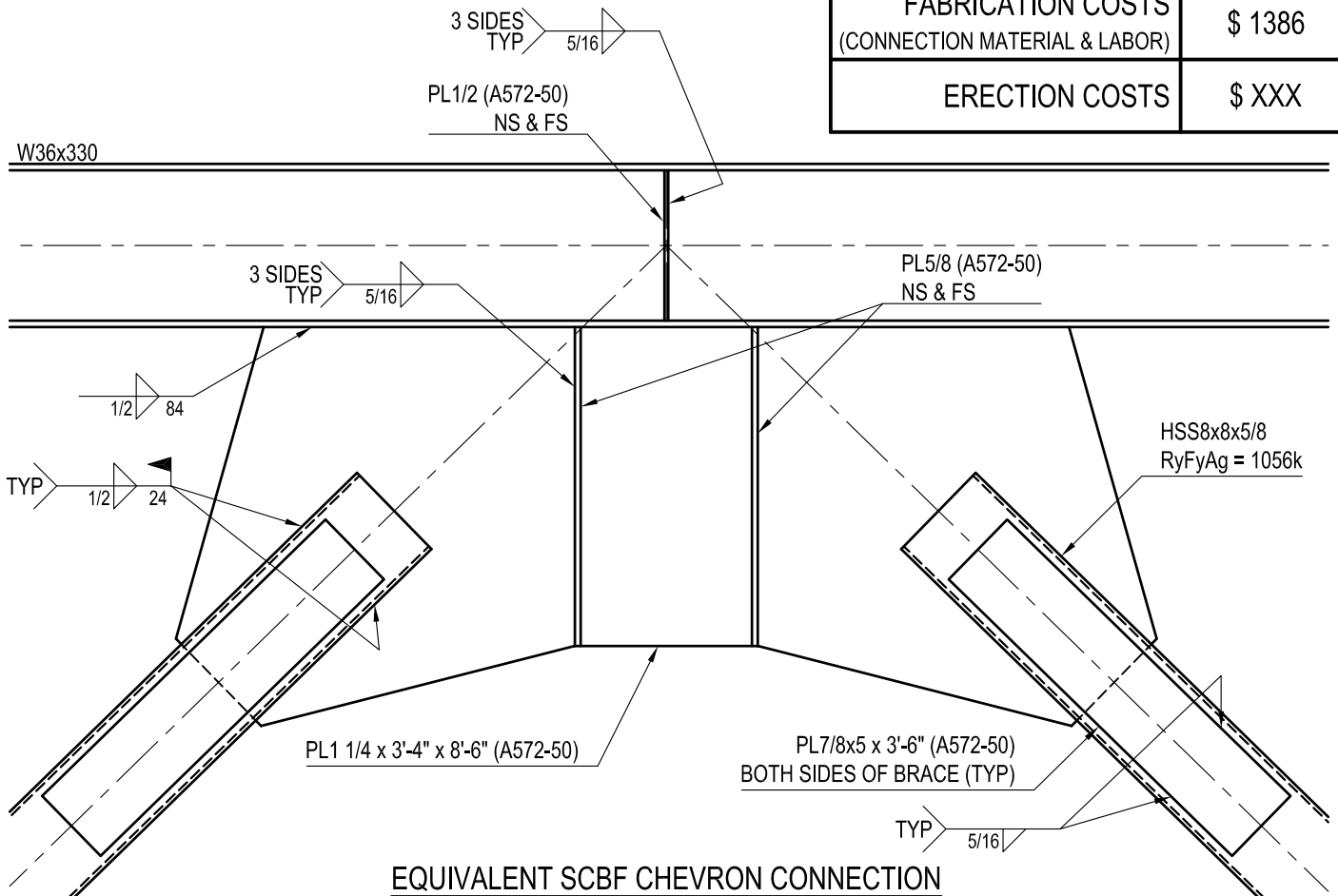
ERECTION COSTS	\$ XXX
----------------	--------



**BRBF CHEVRON CONNECTION**

FABRICATION COSTS (CONNECTION MATERIAL & LABOR)	\$ 1386
--	---------

ERECTION COSTS	\$ XXX
----------------	--------



**EQUIVALENT SCBF CHEVRON CONNECTION**